

HIGH STRENGTH WIRE ROD EXCELLENT IN DELAYED FRACTURE RESISTANCE, ITS PRODUCTION, AND HIGH STRENGTH BOLT

Publication number: JP11315349

Publication date: 1999-11-16

Inventor: NAMIMURA YUICHI; IBARAKI NOBUHIKO; MAKII KOICHI; KAKO HIROSHI

Applicant: KOBE STEEL LTD

Classification:

- international: *F16B35/00; B21J5/00; C21D8/06; C21D9/52; C22C38/00; C22C38/10; C22C38/30; F16B35/00; B21J5/00; C21D8/06; C21D9/52; C22C38/00; C22C38/10; C22C38/30; (IPC1-7): C22C38/00; B21J5/00; C21D8/06; C21D9/52; C22C38/10; C22C38/30; F16B35/00*

- european:

Application number: JP19980121542 19980430

Priority number(s): JP19980121542 19980430

Report a data error here

Abstract of JP11315349

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high strength wire rod having excellent delayed fracture resistance as well as ≥ 1200 N/mm² tensile strength, a useful method for obtaining a high strength wire rod like that, and a high strength bolt having the above characteristics. **SOLUTION:** This wire rod is composed of a steel containing 0.5-1.0% C, and the area ratio of a pearlitic structure having a pearlite nodule size of No.7 or above by grain size number is regulated to $\geq 80\%$ by inhibiting the formation of structures of one or ≥ 2 kinds among pro-eutectoid ferrite, pro-eutectoid cementite, bainite, and martensite and also strength is regulated to ≥ 1200 N/mm² by means of heavy wire drawing. Moreover, the steel is heated to 800-1000 deg.C, cooled rapidly down to 520-650 deg.C, and isothermally held at the temperature, by which the formation of structures of one or ≥ 2 kinds among pro-eutectoid ferrite, pro-eutectoid cementite, bainite, and martensite is inhibited to regulate the area ratio of a pearlitic structure having a pearlite nodule size of No.7 or above by grain size number to $\geq 80\%$. Then, strength is regulated to ≥ 1200 N/mm² by means of heavy wire drawing.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P) (22) 公開特許公報 (A) (11)特許出願公開番号
特開平11-315349
(43)公開日 平成11年(1999)11月18日

| (51)IntCl. ⁴ | 識別番号 | F I |
|-------------------------|-------|--------------|
| C 22 C 38/00 | 3 0 1 | C 22 C 38/00 |
| B 21 J 5/00 | | B 21 J 5/00 |
| C 21 D 8/06 | | C 21 D 8/06 |
| | 1 0 3 | 9/52 |
| | 1 0 4 | 104 |

審査請求 未請求 請求項の枚数 9 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

| | | | |
|----------|-------------------|---------|-------------------------------------|
| (21)出願番号 | 特願平10-121542 | (71)出願人 | 000001199 |
| (22)出願日 | 平成10年(1998) 4月30日 | | 株式会社神戸製鋼所 |
| | | (72)発明者 | 兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号 |
| | | | 並村 裕一 |
| | | (72)発明者 | 神戸市東区篠原町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鋼所内 |
| | | | 安木 信彦 |
| | | (72)発明者 | 神戸市東区篠原町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鋼所内 |
| | | | 鍋井 浩一 |
| | | (74)代理人 | 神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内 |
| | | | 弁理士 小谷 悦司 (外1名) |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 耐遅れ破壊性に優れた高強度線材およびその製造方法並びに高強度ボルト

(57)【要約】

【課題】 引張強度が1200N/mm²以上でありながら耐遅れ破壊性に優れた高強度線材、およびその様な高強度線材を得る為の有用な方法、並びに上記の特性を有する高強度ボルトを提供する。

【解決手段】 C:0.5~1.0%を含む鋼からなり、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上の組織の組織生成を80%以上とし、かつ強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであり、520~650℃の温度まで急冷し、その温度で恒温保持することにより、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制して、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上の組織の組織生成を80%以上とし、その後強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 C:0.5~1.0% (質量%)の意味、以下同じ)を含む鋼からなり、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上のパーライト組織の組織生成を80%以上とし、かつ強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであり、引張強度を有する鋼に加工したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度線材。

【請求項2】 Si:2.0%以下 (0%を含む) および/またはC:0.5%以下 (0%を含む) を含む鋼からなり、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上のパーライト組織の組織生成を80%以上とし、かつ強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであり、引張強度を有する鋼に加工したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度線材。

【請求項3】 Cr, Mo, Ti, Nb, VおよびWよりなる群から選択される1種以上を合計で0.01~0.5%含有するものである請求項1または2に記載の線材。

166x (線径) -1.4 ≤ V ≤ 288x (線径) -1.4

【請求項6】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を製造するに当たり、鋼材を800~1000℃に加熱した後、520~650℃の温度まで急冷し、その温度で恒温保持することにより、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上のパーライト組織の組織生成を80%以上とし、その後強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度線材の製造方法。

【請求項7】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を製造するに当たり、鋼材の圧延または鍛造終了温度が800~1000℃となる様に熱間圧延または熱間鍛造を行なった後、5℃/秒以上の平均冷却速度で520~750℃の温度まで冷却し、その温度で1.0℃/秒以下の平均冷却速度で200秒以上保持し、引き続き放冷することにより、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上のパーライト組織の組織生成を80%以上とし、その後強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度線材の製造方法。

【請求項9】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を使用し、切断後に両端部をねじ転造または切削に加工して加工したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度ボルト。

【請求項10】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を使用し、切断後に両端部をねじ転造または切削に加工して加工したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度ボルト。

【請求項11】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を使用し、切断後に両端部をねじ転造または切削に加工して加工したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度ボルト。

高強度線材。

【請求項4】 A1:0.01~0.05%を含有するものである請求項1~3のいずれかに記載の高強度線材。

【請求項5】 請求項1~4のいずれかに記載の高強度線材を製造するに当たり、鋼材の圧延または鍛造終了温度が800~1000℃となる様に熱間圧延または熱間鍛造を行なった後、平均冷却速度Vが下記(1)式を満たす様に冷却し、引き続き放冷することにより、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト/ジュニールサイズが初度番号でN0.7以上のパーライト組織の組織生成を80%以上とし、その後強伸加工によって1200N/mm²以上の強度に達したものであることを特徴とする耐遅れ破壊性に優れた高強度線材の製造方法。

166x (線径) -1.4 ≤ V ≤ 288x (線径) -1.4

【請求項12】

【発明の属する技術分野】 本発明は、自動車用や各種産業機械用として使用されるボルト用として適した高強度線材、およびその製造方法並びに高強度ボルト等に関するものであり、特に引張強度が1200N/mm²以上でありながら耐遅れ破壊性に優れた高強度線材、およびその様な高強度線材を製造する為の有用な方法、並びに該高強度線材からなる高強度ボルト等に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般の高強度ボルト用鋼としては、中炭素鋼 (SCM435、SCM440、SCr440等) が使用されており、焼入れ・焼戻しによって必要な強度を確保する様にしている。しかしながら、自動車用や各種産業機械用として使用される一般の高強度ボルトでは、引張強度が約1200N/mm²を超える領域になると、遅れ破壊が発生する危険があり、使用上の制約がある。

【0003】 遅れ破壊は、非腐食性環境下で起こるものと腐食性環境下で起こるものがあるが、その発生原因は種々の要因が複雑にからみあっていると言われており、一般に上記原因を特定することは困難である。上記の様な遅れ破壊を左右する制約因子としては、焼戻し温度、組織、材料硬さ、結晶粒、各種合金元素等の間与が一応認められているものの、遅れ破壊を防止する為の有効な手段が確立されている訳ではなく、試行錯誤的に種々の方法が提案されているに過ぎないのが現状である。

【0004】 耐遅れ破壊性を改善する為、例えば特開昭60-114551号、特開平2-267243号および特開平3-243745号等の技術が提案されている。これらの技術は、各種の主要な合金元素を調整することによって、引張強度が1400N/mm²以上でも

耐遅れ破壊性が優れた高強度ボルト用鋼の開発を目的としてなされたものである。しかしながらこれらの技術によって、遅れ破壊発生危険が完全に解消されたと言いつても、それらの適用範囲はごく限られた範囲に止まっている。

【0005】
【発明が解決しようとする課題】本発明はこの様な事情に鑑みてなされたものであって、その目的は、引張強度が1200N/mm²以上でありながら耐遅れ破壊性を有する高強度鋼材、およびその様な高強度鋼材を得るための有用な方法、並びに上記の特性を有する高強度ボルトを提供することにある。

【0006】
【課題を解決するための手段】上記目的を達成し得た高強度鋼材とは、C:0.5~1.0%を含む鋼材からなり、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制し、パーライト組織の面積率が80%以上とし、0.7以上のパーライト組織の面積率が80%以上とし、たものであり、且つ強伸加工によって1200N/mm²以上の強度にいたものである点に要旨を有するもの

166×(線径)-1.45≤V≤288×

... (1)

【0009】また本発明の高強度鋼材は、鋼材を800

【0010】更に、本発明の高強度鋼材は、鋼材の圧延または焼造終了温度が800~1000℃となるように急冷し、その温度で恒速保持することにより、初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制して、パーライト組織の面積率が80%以上とし、その後強伸加工によって1200N/mm²以上の強度にするように製造することができる。

【0013】そこで本発明者らは、耐遅れ破壊性を更に向上させるために鋭意研究を重ねた結果、組織をある程度をもったパーライト主体の組織とし、強伸加工により1200N/mm²以上の強度とすれば、耐遅れ破壊性が改善されることを発見し、本発明を完成した。

【0014】本発明の高強度鋼材は、上述の如く初析フェライト、初析セメンタイト、ベイナイトおよびマルテンサイトの1種または2種以上の組織生成を抑制して、パーライト組織の面積率が80%以上とする必要がある。上記組織のうち、初析フェライトと初析セメンタイトが多く生成すると、伸長時に微細な割れが生じて伸びができなくなり、強伸加工によって1200N/mm²の強度を得ることができなくなる。また初析セメンタイトとマルテンサイトは、伸長時に断線を引き起こすので少なくする必要がある。更に、ベイナイトはパーライトに比べて加工硬化量が少なくなるので、強伸加工による強度上昇が望めないものであるだけ少なくする必要がある。

【0011】一方、本発明の高強度鋼材を素材とし、使用し、所定の長さで切断した後、(1)両端部をねじ起造または切削により加工する(スレッドボルトにする)、または(2)両端部をねじ起造によって一方端部にボルト頭部を形成し、両端部をねじ起造の前方または後方端部をねじ起造または切削により加工すること、等により製造された耐遅れ破壊性を発揮する高強度ボルトが得ら

7%である。またC含有量の好ましい上限は、0.95%であり、より好ましくは0.9%とするのが良い。

【0020】本発明の高強度鋼材は、通常添加される各種元素(Si、Co、Mn、Cr、Ni、Cr、Mo、Ti、Nb、V、W、Al、B等)を含有しても良いことは勿論であるが、特に所定量のSiやCを含有させるとは、初析セメンタイトの析出を抑制する上で有効であり、またCr、Mo、Ti、Nb、V、W、Alは結晶粒を微細化してパーライト組織の面積率を低減化するのに有効である。必要に応じて添加される各元素の添加理由は下記の通りである。

【0021】Si:2.0%以下(0%を含まない)
Siは鋼の溶入性を向上させて初析セメンタイトの析出を抑える効果を得る。また脱酸剤としての作用が期待され、しかもフェライトに固溶して顕著な固溶強化作用も発揮する。これらの効果は、その含有量が増加するにつれて増大するが、Si含有量が過剰になると伸長後の鋼材の延性を低下させるので、2.0%以上としない。尚Si含有量の好ましい上限は、1.0%であり、より好ましくは0.5%である。

【0022】Co:0.5%以下(0%を含まない)
CoはSiと同様に初析セメンタイトの析出を抑制する効果があり、初析セメンタイトの低減を図る本発明の強度における添加成分としては特に有効である。こうした効果は、含有量が増加すればするほど増大するが、0.5%を超えて含有させてもその効果は飽和して不経済となるので、その上限を0.5%とした。尚Co含有量の好ましい範囲は、0.05~0.3%であり、更に好ましくはその下限を0.1%、その上限を0.2%とするのが良い。

【0023】Cr、Mo、Ti、Nb、VおよびWよりなる群から選ばれる1種以上、合計で0.01~0.5%
これらの元素は、微細な炭素化物を形成して耐遅れ破壊性の向上に寄与する。またこれらの炭化物および炭化物は、パーライト組織の面積率を低減化する上で有効である。こうした効果を得るためには合計で0.01%以上含有させる必要があるが、過剰に含有させると耐遅れ破壊性および延性を阻害するので、合計で0.5%以下にする必要がある。尚これらの元素含有量の好ましい下限は合計で0.02%であり、より好ましくは0.03%とするのが良い。また好ましい上限は合計で0.3%であり、より好ましくは0.1%とするのが良い。

【0024】Al:0.01~0.05%
Alは鋼中のNを捕捉してAINを形成し、パーライト組織の面積率を低減化することによって耐遅れ破壊性の向上に寄与する。そのためには、0.01%以上含有させる必要があるが、0.05%を超えると炭化物系介在物や炭化物系介在物が生成し、伸長性が低下するので、より好ましくは0.1%とするのが良い。

【0025】N:0.005%以下(0%を含まない)
Nは鋼中のAlを捕捉してAINを形成し、パーライト組織の面積率を低減化することによって耐遅れ破壊性の向上に寄与する。そのためには、0.005%以上含有させる必要があるが、0.01%を超えると炭化物系介在物や炭化物系介在物が生成し、伸長性が低下するので、より好ましくは0.005%とするのが良い。

で、0.05%以下にする必要がある。尚A1含有量の好ましい下限は0.025%であり、好ましい上限は0.035%である。

【0025】Mn:0.2~1.0%

Mnは脱酸剤としての効果と、鋼線の伸入性を向上させる鋼線の組織の均一性を高める効果を発揮する。これらの効果を実現させるためには、0.2%以上含有させる必要がある。しかしながらMn含有量が過剰になると、Mnの偏析部にマルテンサイトやベイナイトなどの過冷組織が生成して伸線加工性を劣化させるので、1.0%を上限とする。尚Mn含有量の好ましい下限は0.40%であり、より好ましくは0.45%とするのが良い。またMn含有量の好ましい上限は0.70%であり、より好ましくは0.55%とするのが良い。

【0026】Cu:0.5%以下(0%を含まない)

Cuは析出硬化作用によって鋼線の高強度化に寄与する元素である。しかしながら過剰に添加すると、粒界脆化を起こして耐遅れ破壊性を劣化させる原因となるので、0.5%を上限とする。尚Cu含有量の好ましい下限は0.05%であり、より好ましくは0.1%とするのが良い。またCu含有量の好ましい上限は0.3%であり、より好ましくは0.2%とするのが良い。

【0027】Ni:1.0%以下(0%を含まない)

Niは鋼線の強度上昇にはあまり寄与しないが、伸線材の塑性を高める効果がある。しかしながら、Ni含有量が過剰になると、変態終了温度が低くなり過ぎ、設備の大型過、生産性の劣化を来すため、1.0%を上限とする。尚Ni含有量の好ましい下限は0.05%であり、より好ましくは0.1%とするのが良い。またNi含有量の好ましい上限は0.5%であり、より好ましくは0.3%とするのが良い。

【0028】B:0.0005~0.003%

Bは鋼の焼入れ性向上のために添加されるが、その効果を発揮するためには、0.0005%以上含有させる必要がある。しかしながら、0.003%を超えて過剰に含有すると却って塑性を阻害する。尚B含有量の好ましい下限は0.0010%であり、好ましい上限は0.0025%である。

【0029】N:0.015%以下(0%を含まない)

NはA1NやTiN等の窒化物を形成することによって、結晶粒の微細化については耐遅れ破壊性の向上に好影響を与える。しかしながら、過剰に含有すると窒化物が析出する。尚N含有量の好ましい下限は0.005%であり、より好ましくは0.01%とするのが良い。

【0030】この工程によって、通常の圧延よりも均質なバーライト組織が得られ、伸線前の強度上昇が図れる。圧延または鍛造終了温度が高過ぎると、オーステナイト組織が粗大となり、バーライトノジュールサイズの粗大化を招く。逆に、終了温度が低過ぎると、オーステナイト化が不十分となり、均質なバーライト組織が得られなくなる。こうした観点から、上記終了温度は800

増加し過ぎて伸線性に悪影響を及ぼすだけでなく、固溶Nが伸線中の時効を促進することがあるので、0.015%以下にする必要がある。尚N含有量の好ましい上限は0.007%であり、より好ましくは0.005%以下にするのが良い。

【0030】本発明の高強度線材においては、上記成分の他(残部)は基本的に数からなるものであるが、これら以外にも微量成分を含み得るものであり、こうした成分を含むものも本発明の技術的範囲に含まれるものである。またその特性を更に良好にするという観点からして、P、SおよびOについては、下記の様に抑制するのが良い。更に、本発明の高強度線材には、不可避的に不純物が含まれることになるが、それらは本発明の効果を損なわない限度で許容される。

【0031】P:0.03%以下(0%を含む)

Pは粒界偏析を起こして、耐遅れ破壊性を劣化させる元素である。そこでP含有量を0.03%以下とすることにより、耐遅れ破壊性の向上が図れる。尚P含有量は、0.015%以下に低減するのが好ましく、より好ましくは0.005%以下にするのが良い。

【0032】S:0.03%以下(0%を含む)

Sは鋼中でMnSを形成し、応力が集中されたときにMnSが応力集中箇所となる。従って、耐遅れ破壊性の改善にはS含有量をできるだけ減少させることが必要となり、0.03%以下にするのが良い。尚S含有量は、0.01%以下に低減するのが好ましく、より好ましくは0.005%以下にするのが良い。

【0033】O:0.005%以下(0%を含む)

Oは常温では鋼にほとんど固溶せず、硬質の酸化物系介在物として存在し、伸線時にカップ―ス断層を引き起こす原因となる。従って、O含有量は極力少なくすべきであり、少なくとも0.005%以下に抑える必要がある。尚O含有量は、0.003%以下に低減することが好ましく、より好ましくは0.002%以下に低減するのが良い。

【0034】本発明の高強度線材は、上記した各製造方法によって製造することができ、各方法における作用は下記の通りである。まず上記の様な化学成分組成を有する鋼材を用い、鋼材の圧延または鍛造終了温度が800~1000℃となる様に熱間圧延または熱間鍛造を行なった後、平均冷却速度Vが下記(1)式を満足する様に400℃まで冷却し、引き続き放冷する。

$$\text{--- (1) ---}$$

166×(線径)^{-1.4} ≤ V ≤ 288×(線径)^{-1.4}

【0035】この工程によって、通常の圧延よりも均質なバーライト組織が得られ、伸線前の強度上昇が図れる。圧延または鍛造終了温度が高過ぎると、オーステナイト組織が粗大となり、バーライトノジュールサイズの粗大化を招く。逆に、終了温度が低過ぎると、オーステナイト化が不十分となり、均質なバーライト組織が得られなくなる。こうした観点から、上記終了温度は800

外の組織が生成し易くなる。

【0041】上記で冷却した後は、均質なバーライト組織を得るという観点から、その温度(520~750℃の温度:徐冷開始温度)から1℃/秒以下の平均冷却速度で冷却(徐冷)しつつ200秒以上保持する必要がある。このときの平均冷却速度が1℃/秒よりも速くなったり、保持時間が200秒未満になると、バーライト組織に変態する前に放冷されて、ベイナイトやマルテンサイトが生成し易くなる。尚この冷却速度の好ましい範囲は、0.5℃/秒以下であり、より好ましくは0.2℃/秒以下とするのが良い。また上記保持時間の好ましい範囲は、300秒以上であり、より好ましくは600秒以上とするのが良い。尚TTT線図のバーライトノーズ付近の温度に長く保持することが最も好ましい。

【0042】上記の様にして得られた高強度線材を使用し、所定の長さで切断した後、(1)両端部をねじねじまたは切削によりねじ加工するか(ステップボルトにする)、または(2)両端部をねじ加工すること、等によって優れた耐遅れ破壊特性および強度を発揮するボルトが得られる。尚上記(2)の方法においては、線材の強度が高いため、通常の冷却鍛造では所定のボルト形状に成形しにくいという理由からである。

【0043】以下本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のものではなく、前・後記の趣旨に照して設計変更することはいずれも本発明の技術的範囲に含まれる。

【0044】

【実施例】実施例1

下記表1に示す化学成分組成を有する供試鋼を用い、線径:11mmφまたは14mmφまで圧延終了温度が約930℃になる様に熱間圧延した後、平均冷却速度Vを4.1~12.3℃/秒(下記表2)の範囲として面風冷却した。その後、線径:7.06mmまで伸線した(伸線率:59%、75%)。

【0045】

【表1】

| 供試鋼 | 化 学 成 分 (質量%) | | | | | | | | | |
|-----|---------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------|--|
| | C | Si | Mn | P | S | Al | N | O | その他 | |
| A | 0.55 | 0.82 | 0.50 | 0.008 | 0.002 | 0.031 | 0.005 | 0.0008 | | |
| B | 0.62 | 0.81 | 0.49 | 0.008 | 0.002 | 0.028 | 0.004 | 0.0008 | | |
| C | 0.81 | 0.82 | 0.50 | 0.007 | 0.003 | 0.030 | 0.005 | 0.0007 | | |
| D | 0.97 | 0.52 | 0.45 | 0.008 | 0.003 | 0.027 | 0.005 | 0.0005 | | |
| E | 1.30 | 0.50 | 0.53 | 0.005 | 0.003 | 0.031 | 0.005 | 0.0007 | | |
| F | 0.84 | 1.23 | 0.53 | 0.004 | 0.003 | 0.030 | 0.005 | 0.0007 | | |
| G | 0.90 | 2.23 | 0.50 | 0.005 | 0.003 | 0.033 | 0.005 | 0.0005 | | |
| H | 0.88 | 0.83 | 0.10 | 0.005 | 0.003 | 0.031 | 0.005 | 0.0055 | | |
| I | 0.87 | 0.85 | 1.22 | 0.006 | 0.002 | 0.030 | 0.006 | 0.0006 | | |
| J | 0.92 | 0.79 | 0.73 | 0.005 | 0.002 | 0.032 | 0.005 | 0.0008 | Cu:0.43 | |
| K | 0.87 | 0.78 | 0.51 | 0.005 | 0.003 | 0.029 | 0.005 | 0.0007 | Cr:0.31 | |
| L | 0.85 | 0.80 | 0.50 | 0.006 | 0.002 | 0.030 | 0.005 | 0.0008 | Mn:0.20 | |
| M | 0.92 | 0.87 | 0.71 | 0.005 | 0.003 | 0.035 | 0.008 | 0.0008 | Ti:0.03 | |
| N | 0.88 | 0.89 | 0.68 | 0.004 | 0.002 | 0.029 | 0.010 | 0.0007 | Nb:0.05 | |
| O | 0.87 | 0.84 | 0.70 | 0.007 | 0.003 | 0.030 | 0.012 | 0.0005 | V:0.10 | |
| P | 0.85 | 0.85 | 0.75 | 0.005 | 0.002 | 0.030 | 0.011 | 0.0008 | W:0.30 | |
| Q | 0.82 | 0.80 | 0.72 | 0.005 | 0.003 | 0.029 | 0.008 | 0.0008 | Ti:0.02,Nb:0.05 | |
| R | 0.82 | 0.79 | 0.50 | 0.005 | 0.002 | 0.030 | 0.003 | 0.0005 | Ti:0.02,B:0.0014 | |
| S | 0.89 | 1.01 | 0.64 | 0.008 | 0.002 | 0.032 | 0.005 | 0.0007 | | |
| T | 0.34 | 0.19 | 0.70 | 0.005 | 0.003 | 0.033 | 0.003 | 0.0006 | Cu:0.95,Mn:0.18 | |

【0046】得られた各種材料を用い、図1に示すM8×P1.25のスクラップ部を作製し、遅れ破壊試験を行なった。遅れ破壊試験は、ボルトを酸中に浸漬後(15% HCl×30分)、水洗・乾燥して大気中で力負荷(負荷能力は引張り強さの90%)し、100時間後の破断の有無で評価した。また初折フェライト、初折セメントライト、ベイナイト、マルテンサイトまたはパーライト組織の分類を下記の方法で行ない、各組織の面積率を求めた。更に、パーライトノジュールサイズを、下記の方法で測定した。このとき比較のために、一部のものはマルテンサイト組織にしたものについても遅れ破壊試験を行なった(後記表2のNo.19)。

【0047】(各組織の分類方法)線材の横断面を埋め込み、研削後、5%のピクリン酸アルコール液に15〜30秒間浸漬して腐食させた後、走査型電子顕微鏡(SEM)によってD/4(Dは直径)部を組織観察した。1000〜3000倍で5〜10視野撮影し、パーライト組織部分を測定した。尚パーライト組織と区別が付きにくい、ベイナイト組織や初折フェライト組織については、図2(図面代用顕微鏡写真)に示す様な組織をベイ

ナイト組織とし、図3(図面代用顕微鏡写真)に示す様な組織を初折フェライト組織と判断した。これらの組織の傾向として、初折フェライトと初折セメントライトは、旧オーステナイト結晶境界に沿って針状に析出し、マルテンサイトは塊状に析出していた。

【0048】(パーライトノジュールサイズの測定方法)線材の横断面を埋め込み、研削後、1〜2%のナイター液に2〜10秒間浸漬した後、光学顕微鏡によってD/4(Dは直径)部を組織観察した。パーライトノジュールの粒度番号は、JIS G0551またはJIS S G0552のオーステナイト結晶粒度またはフェライト結晶粒度と同じ単位(粒度番号)で規定した。

【0049】各線材の組織を平均冷却速度Vと共に下記表2に、遅れ破壊試験結果を伸張条件および機械的特性と共に下記表3に示す。尚平均冷却速度Vの適正な範囲(下記表3)式を満足する範囲)は、線径が14mmのときに4.12≤V≤7.16(℃/秒)であり、線径が11mmのときに5.78≤V≤10.03(℃/秒)である。

【0050】

【表2】

| 試験 No. | 試験 品名 | 初折フェライト 面積率(%) | 初折セメントライト 面積率(%) | ベイナイト 面積率(%) | マルテンサイト 面積率(%) | パーライト 面積率(%) | ノジュール サイズ(μm) | 平均冷却速度 V(℃/秒) | 備考 |
|-----------|----------|---|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|-----|
| 1 | A | 31 | 0 | 0 | 0 | 69 | 7.9 | 5.1 | 比較例 |
| 2 | B | 31 | 0 | 0 | 0 | 69 | 8.2 | 4.1 | 比較例 |
| 3 | C | 0 | 0 | 13 | 11 | 76 | 8.6 | 12.3 | 比較例 |
| 4 | B | 18 | 0 | 0 | 0 | 82 | 8.1 | 6.2 | 実施例 |
| 5 | C | 12 | 0 | 0 | 0 | 88 | 8.3 | 8.7 | 実施例 |
| 6 | D | 0 | 36 | 0 | 0 | 66 | 8.3 | 8.5 | 比較例 |
| 7 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 8.6 | 8.6 | 実施例 |
| 8 | F | 6 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.7 | 8.6 | 実施例 |
| 9 | G | 4 | 0 | 0 | 0 | 96 | 8.2 | 8.7 | 実施例 |
| 10 | H | 10 | 0 | 0 | 0 | 90 | 8.2 | 8.7 | 実施例 |
| 11 | I | 0 | 0 | 11 | 25 | 64 | 8.2 | 8.6 | 比較例 |
| 12 | J | 2 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.1 | 8.4 | 実施例 |
| 13 | K | 1 | 0 | 0 | 0 | 96 | 8.1 | 8.5 | 実施例 |
| 14 | L | 6 | 0 | 0 | 0 | 93 | 8.3 | 8.5 | 実施例 |
| 15 | M | 7 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.9 | 8.6 | 実施例 |
| 16 | N | 9 | 0 | 0 | 0 | 93 | 8.2 | 8.6 | 実施例 |
| 17 | O | 10 | 0 | 0 | 0 | 90 | 8.8 | 8.6 | 実施例 |
| 18 | P | 14 | 0 | 0 | 0 | 86 | 8.6 | 8.6 | 実施例 |
| 19 | Q | 8 | 0 | 0 | 0 | 92 | 8.9 | 8.7 | 実施例 |
| 20 | R | 8 | 0 | 0 | 0 | 92 | 8.9 | 8.7 | 実施例 |
| 21 | S | 0 | 0 | 11 | 0 | 88 | 6.8 | 8.5 | 比較例 |
| 22 | T | 580℃×30分-00、460℃×90分-WC(100%焼戻しマルテンサイト組織) | | | | | | - | 比較例 |

【表3】

| 試験 No. | 試験 品名 | 初折フェライト 面積率(%) | 初折セメントライト 面積率(%) | ベイナイト 面積率(%) | マルテンサイト 面積率(%) | パーライト 面積率(%) | ノジュール サイズ(μm) | 平均冷却速度 V(℃/秒) | 備考 |
|-----------|----------|---|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|-----|
| 1 | A | 31 | 0 | 0 | 0 | 69 | 7.9 | 5.1 | 比較例 |
| 2 | B | 31 | 0 | 0 | 0 | 69 | 8.2 | 4.1 | 比較例 |
| 3 | C | 0 | 0 | 13 | 11 | 76 | 8.6 | 12.3 | 比較例 |
| 4 | B | 18 | 0 | 0 | 0 | 82 | 8.1 | 6.2 | 実施例 |
| 5 | C | 12 | 0 | 0 | 0 | 88 | 8.3 | 8.7 | 実施例 |
| 6 | D | 0 | 36 | 0 | 0 | 66 | 8.3 | 8.5 | 比較例 |
| 7 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 8.6 | 8.6 | 実施例 |
| 8 | F | 6 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.7 | 8.6 | 実施例 |
| 9 | G | 4 | 0 | 0 | 0 | 96 | 8.2 | 8.7 | 実施例 |
| 10 | H | 10 | 0 | 0 | 0 | 90 | 8.2 | 8.7 | 実施例 |
| 11 | I | 0 | 0 | 11 | 25 | 64 | 8.2 | 8.6 | 比較例 |
| 12 | J | 2 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.1 | 8.4 | 実施例 |
| 13 | K | 1 | 0 | 0 | 0 | 96 | 8.1 | 8.5 | 実施例 |
| 14 | L | 6 | 0 | 0 | 0 | 93 | 8.3 | 8.5 | 実施例 |
| 15 | M | 7 | 0 | 0 | 0 | 91 | 8.9 | 8.6 | 実施例 |
| 16 | N | 9 | 0 | 0 | 0 | 93 | 8.2 | 8.6 | 実施例 |
| 17 | O | 10 | 0 | 0 | 0 | 90 | 8.8 | 8.6 | 実施例 |
| 18 | P | 14 | 0 | 0 | 0 | 86 | 8.6 | 8.6 | 実施例 |
| 19 | Q | 8 | 0 | 0 | 0 | 92 | 8.9 | 8.7 | 実施例 |
| 20 | R | 8 | 0 | 0 | 0 | 92 | 8.9 | 8.7 | 実施例 |
| 21 | S | 0 | 0 | 11 | 0 | 88 | 6.8 | 8.5 | 比較例 |
| 22 | T | 580℃×30分-00、460℃×90分-WC(100%焼戻しマルテンサイト組織) | | | | | | - | 比較例 |

【0052】実施例2
前記表1に示した供試鋼Cを用い、線径：11mmφま
で圧延終了温度が約930℃になる様に熱間圧延した後
急冷し、下記表4に示す条件にてバネテンディング処理
(加熱温度：750〜935℃、恒温時間：4.95〜6
65℃×4分)した。その後、線径：7.06mmまで
伸縮した(伸縮率：59%)。 【表4】

